

***Inter-relação da
estrutura muscular
e textura da carne***

Inter-relação da estrutura muscular e textura da carne

Eliane Mattos Monteiro
Massami Shimokomaki



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa de Pecuária dos Campos Sulbrasilieiros
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

Embrapa Pecuária Sul
Área de Comunicação Empresarial e Negócios Tecnológicos
BR 153 - km 595 - Vila Industrial
Caixa Postal 242
CEP 96400-970 - Bagé, RS
Fone/Fax: (0XX53) 242-8499

Tiragem: 300 exemplares

Comitê de Publicações

Coordenador: Roberto Silveira Collares

Membros: Carlos Otávio Costa Moraes
Francisco de Paula Jardim Alves-Branco
Joal José Brazzale Leal
João Carlos Pinto Oliveira
José Otávio Neto Gonçalves
Odoni Loris Pereira de Oliveira
Vicente Celestino Pires da Silveira

Monteiro. E. M.

Inter-relação da estrutura muscular e textura da carne. / - E.M. Monteiro, Massami Shimokomaki. - Bagé : Embrapa Pecuária Sul, 2000. 35p. (Embrapa Pecuária Sul, Circular Técnica, 18)

1. Tecnologia da carne. I. Shimokomaki, M. II. Título. III Série.

CDD : 664.9

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA MIOFIBRILAR	7
ATIVIDADE ENZIMÁTICA DURANTE A MATURAÇÃO DA CARNE	11
INFLUÊNCIA DO TIPO DE FIBRA MUSCULAR NA MATURAÇÃO	15
GORDURA SUBCUTÂNEA E INTRAMUSCULAR	17
TECIDO CONJUNTIVO	19
QUANTIDADES E TIPOS DE COLÁGENOS	21
LIGAÇÕES CRUZADAS DO COLÁGENO	24
MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA TEXTURA	27
CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	31

Inter-relação da estrutura muscular e textura da carne

Eliane Mattos Monteiro¹
Massami Shimokomaki²

INTRODUÇÃO

A textura é um dos principais atributos de qualidade para a maioria dos alimentos. Cinco fatores contribuem, principalmente, para a qualidade sensorial da carne: textura, aparência, cor, sabor e aroma. Destes fatores, a textura é apontada, pela maioria dos consumidores, como o mais importante e dois parâmetros sensoriais, a maciez e a suculência, contribuem muito para este atributo e formam a base de "marketing" dos diferentes tipos de corte.

A maciez da carne está associada à estrutura do tecido muscular, às propriedades bioquímicas das fibras musculares esqueléticas, especialmente as miofibrilas e seus filamentos intermediários, e ao tecido conjuntivo intramuscular, o endomísio e o perimísio, os quais são compostos de fibrilas e fibras de colágeno. A estabilidade mecânica das fibras do colágeno aumenta com a idade do animal e estas mudanças são associadas às linhas cruzadas intermoleculares, que se tornam estáveis com aumento da idade do tecido, tornando a carne mais dura (BAILEY & LIGHT, 1989).

Por outro lado, a maciez da carne é dependente do enfraquecimento e do rompimento de elementos estruturais, ocorridos durante o processo de maturação *post mortem*, e está relacionada com a queda do pH e com os processos enzimáticos. Vários

¹ Méd. Vet. Dr., Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sul, Caixa Postal 242, CEP 96400-970 - Bagé, RS.

² Prof. Adj. Dr., Universidade de São Paulo - SP.

fatores influenciam a maciez da carne (DRANSFIELD, 1994) e diversos estudos evidenciam uma correlação positiva entre maciez e raça (YOUNG & DOBBIE, 1994); sexo (DRANSFIELD *et al.*, 1990); tipo de músculo (LIGHT *et al.*, 1985); idade (DIKEMAN, 1990); utilização de anabolizantes (KOOHMARAIE *et al.*, 1996); manejo alimentar (SHORTHOSE, 1978); condições pré e pós-abate, que influenciam as conseqüentes trocas físicas e bioquímicas *post mortem* (KOOHMARAIE *et al.*, 1991); temperatura de resfriamento das carcaças (DRANSFIELD, 1994) e método de cozimento da carne (WHEELER *et al.*, 1996).

Esta revisão tem como objetivo reunir informações existentes entre as estruturas do tecido muscular e a textura da carne.

ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA MIOFIBRILAR

A relação entre o padrão contrátil das fibras musculares e a qualidade da carne, especialmente a maciez, tem sido muito estudada. As transformações bioquímicas e físicas que ocorrem durante o *rigor mortis* afetam o padrão contrátil, como o comprimento do sarcômero e, conseqüentemente, a maciez da carne.

O músculo estriado esquelético é constituído de células contráteis, longas e multinucleadas. As células musculares são ocupadas por seus elementos contráteis, as miofibrilas, as quais são ordenadas em feixes paralelos, segundo o eixo de contração. Cada miofibrila contém muitos miofilamentos. As miofibrilas, que são feixes longos e delgados de miofilamentos, apresentam, ao longo do seu comprimento, um padrão estrutural que se repete a cada (\pm) 2,5 μ m, entre duas linhas Z, denominado sarcômero. Esta estrutura é a unidade contrátil das miofibrilas, onde ocorrem os eventos do ciclo de contração e o relaxamento muscular.

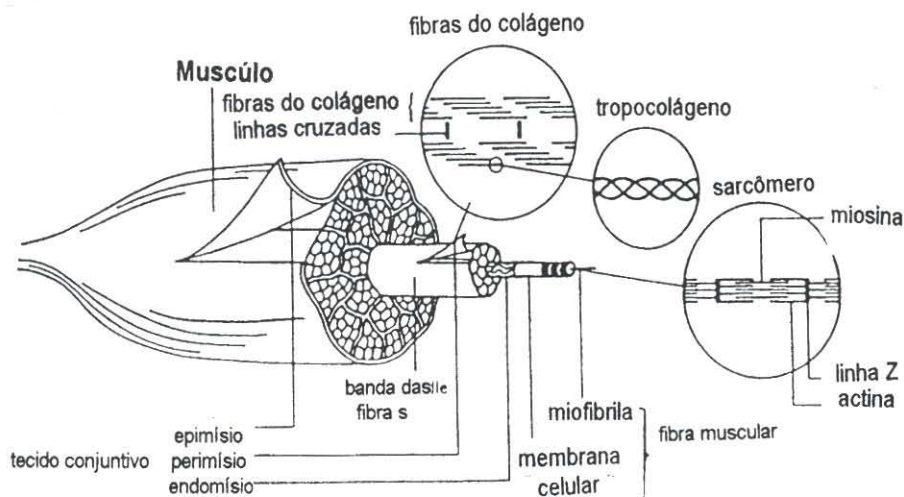
O seu comprimento não é constante, sendo dependente do estado de contração do músculo. Quanto menor o comprimento do sarcômero *post rigor*, mais dura é a carne (PRICE & SCHWEIGERT, 1976).

Alguns fatores contribuem para o encurtamento do sarcômero *pre rigor* e a dureza da carne, como o método de suspensão da carcaça (vertical ou horizontal) durante a glicólise *post mortem* e o resfriamento brusco do músculo, enquanto o pH da carcaça estiver acima de 6,2 (HERRING *et al.*, 1967; SMITH *et al.*, 1976). As modificações bioquímicas e estruturais do sarcômero e dos miofilamentos também respondem pela capacidade de retenção de água da fibra muscular, e essa influencia na maciez e na suculência da carne (DRANSFIELD, 1994).

Embora a linha Z seja uma estrutura rígida, que resiste à força aplicada durante a contração muscular, a sua densidade

pode ser alterada e também associada à maciez da carne. Estudos demonstram que músculos encurtados pelo frio, além de sofrerem diminuição do sarcômero, apresentam um aumento na densidade da linha Z (McCORMICK, 1994a).

Figura 1. Estrutura muscular



Fonte: TORNBERG, (1996).

Nos músculos estriados esqueléticos, os sarcômeros de muitas miofibrilas paralelas dispõem-se transversalmente, originando estriações transversais características através da célula muscular, o que resulta na alternância de bandas ou faixas claras e escuras. As bandas claras apresentam refração simples e são isotrópicas (I). Nelas se encontram grandes quantidades de filamentos finos de actina, além das proteínas tropomiosina, troponina, β e γ actininas, vinculina, nebulina e titina. As bandas escuras têm refração dupla e são anisotrópicas (A), com filamentos grossos, e têm como principal proteína a miosina, além das proteínas C, H, X, F e I. A banda A apresenta no centro uma linha estreita e densa, conhecida como linha M, onde estão loca-

lizadas as proteínas meromiosina e creatina quinase. Na linha Z estão localizadas a α - actinina, desmina, euctinina, filamina, vimentina, sinemina, zeugmatina (Figura 1).

Todos os eventos relacionados com a transformação do músculo em carne ocorrem em algumas das proteínas localizadas no sarcômero. Estas proteínas miofibrilares desempenham papel primordial no amaciamento *post mortem* da carne.

WHEELER *et al.* (1994) associaram o tempo *post mortem* ao comprimento do sarcômero e ao valor da força de cisalhamento no músculo *longissimus* de cordeiros. Os autores observaram que, logo após o abate, o comprimento do sarcômero foi de 2,24 μm com valor da força de cisalhamento de 5,07 kg; decorridas 24 horas, o sarcômero encurtou para 1,69 μm , causando aumento em torno de 60% no valor da força de cisalhamento - 8,56 kg; a partir do 14º dia *post mortem*, o comprimento do sarcômero aumentou para 1,9 μm , acompanhado de diminuição no valor da força de cisalhamento - 4,36 kg. Estas mudanças foram associadas ao processo de maturação.

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DURANTE A MATURAÇÃO DA CARNE

Durante a maturação da carne ocorre uma proteólise dos filamentos protéicos, com perda da integridade do tecido muscular. Embora o mecanismo exato do amaciamento *post mortem* permaneça obscuro, vários estudos sugerem que são de natureza enzimática, com participação de três sistemas:

- 1) enzimas lisossomais, especialmente as catepsinas D (proteínase aspártica), atuam numa faixa de pH 2,5 - 4,5, e as catepsinas B, H e L atuam em pH 3,0 - 6,5. Localizam-se dentro de pequenas vesículas intracelulares e a sua liberação pelo lisossoma é o início da proteólise pós-abate;
- 2) o complexo proteinase multicatalítico (CDP) localiza-se dentro da célula muscular, degrada várias proteínas e atua numa faixa de pH entre 7,0 e 9,0;
- 3) as proteinases cálcio-dependentes atuam num pH neutro.

As proteinases cálcio-dependentes são proteinases cisteínicas, que atuam numa faixa de pH 6,0 - 8,5 e, em função da concentração de íon cálcio necessária para a sua ativação, as enzimas CDP classificam-se em dois tipos: tipo 1 (CDP1), necessita de μM (micromolar) de íon cálcio, μ -calpaína; tipo 2 (CDP2), que requer maior concentração de íon cálcio, μ -calpaína (CORREIA & CORREIA, 1989).

Essas enzimas localizam-se no citoplasma da célula muscular e distribuem-se na linha Z, nas bandas I e A. Em função da sua localização e atuação, o sistema proteolítico calpaínas é considerado como um dos maiores responsáveis pelo amaciamento da carne.

As principais mudanças estruturais decorrentes da ação das enzimas cálcio-dependentes são:

- a) fragmentação das miofibrilas, devido ao enfraquecimento da linha Z;

- b) desaparecimento da troponina e aparecimento de um polipeptídeo de 28-32 Ka;
- c) degradação da desmina que leva à fragmentação das miofibrilas;
- d) degradação da titina (conectina) e enfraquecimento da tensão das miofibrilas;
- e) degradação da nebulina (JUDGE *et al.*, 1989).

Estudos realizados por KOOHMARAI *et al.* (1991) demonstraram diferenças na atividade das enzimas, entre espécies animais, no músculo *longissimus* e na velocidade de amaciamento da carne. A atividade enzimática, entre as espécies, da μ -calpaína tipo 1 (CDP1) foi ovino > suíno > bovino e para m-calpaína tipo 2 (CDP2) ovino > bovino > suíno. Com relação à atividade das catepsinas (B + L), os resultados foram suíno > ovino > bovino. Em função das diferenças na atividade enzimática, a velocidade de amaciamento foi menor na carne suína, intermediária para ovinos e maior para bovinos. A hidrólise da desmina, 24 horas pós-abate, foi mais extensa no *longissimus* dos suínos do que nos ovinos e nos bovinos. Os autores atribuíram essas diferenças à maior atividade das catepsinas no músculo suíno. A atividade das calpaínas é controlada por um inibidor endógeno específico (CDPI), denominado calpastatina.

O aumento da atividade da calpastatina e a diminuição da maciez vêm sendo associados com o aumento da massa muscular. Uma das teorias propostas seria de que o aumento da síntese protéica diminuiria a degradação das proteínas e estimularia o aumento da calpastatina. Este processo vem sendo observado em várias espécies e, principalmente, em animais submetidos a tratamentos com anabolizantes (GREGORY *et al.*, 1989; KRETCHMAR *et al.*, 1990; SOLOMON *et al.*, 1996) e, também, em ovinos que manifestam o “*callipyge*” gene (KOOHMARAI *et al.*, 1995).

Entre raças, quando comparado *Bos indicus* e *Bos taurus*, observa-se diferenças quanto à maciez, decorrentes da diminui-

ção da degradação das proteínas miofibrilares durante a maturação. A carne de *Bos indicus* é mais dura e apresenta maior atividade de calpastatina do que a de *Bos taurus* (SHACKELFORD *et al.*, 1994).

A ação das enzimas, responsáveis pelo amaciamento da carne, ocorre em proteínas miofibrilares e também em proteínas do tecido conjuntivo. Estudos demonstram que a ação das enzimas proteolíticas nas fibras do colágeno provoca uma diminuição da força da matriz do colágeno, por uma desintegração do tecido, que leva a um decréscimo na sua estabilidade térmica e a um aumento da sua solubilidade (BAILEY & LIGTH, 1989; MILLS *et al.*, 1989ab ; NISHIMURA *et al.*, 1996).

INFLUÊNCIA DO TIPO DE FIBRA MUSCULAR NA MATURAÇÃO

A composição do tipo de fibra no músculo é de particular interesse para o estudo do metabolismo pré/pós-abate e, devido à grande variação na composição dos diferentes tipos de fibras, pode-se esperar um padrão heterogêneo no comportamento *post mortem*, entre e dentro de músculos e entre células adjacentes (ASHMORE, 1974; MONIN & OUALI, 1991). Fibras brancas, por sua natureza predominantemente glicolítica, apresentam um acúmulo rápido de lactato no início do período *post mortem* e esta condição está associada à rápida glicólise. Como consequência, ocorre troca na estrutura protéica e na composição química do músculo, que influenciará na capacidade de retenção de água, nos parâmetros sensoriais e na vida de prateleira da carne.

O aumento do número das fibras glicolíticas, em associação a outros fatores, é apontado como fator responsável da suscetibilidade dos suínos ao “stress”, que produzem carne PSE (“pale, soft, exudative”) (GUSTAVSSON *et al.*, 1992). Por outro lado, maior proporção de fibras oxidativas no músculo *longissimus* foi associado à carne DFD (“dark, firm, dry”), em carcaças 48 horas *post mortem*. Conforme os autores, embora o estresse seja apontado como fator que estimula o DFD, este é dependente do tipo de metabolismo da fibra muscular (oxidativo ou glicolítico) (PEARSON & YOUNG, 1989).

Ainda considerando a influência do tipo de fibra na qualidade sensorial da carne, acredita-se que músculos com predominância de fibras vermelhas são suscetíveis ao encurtamento pelo frio. A associação das fibras vermelhas (*slow oxidative*) ao encurtamento está relacionada a um conjunto de fatores: possuem pouca capacidade de reter o cálcio em baixas temperaturas, pH, maior número de mitocôndrias, maior quantidade de cálcio e

retículo sarcoplasmático pouco desenvolvido. Já as fibras brancas possuem retículo sarcoplasmático mais desenvolvido, podendo reter mais Ca iônico, menos mitocôndrias e mais glicogênio, sendo, desta forma, mais resistentes ao encurtamento (CORNFORTH *et al.*, 1980).

As fibras brancas (*fast glycolytic*) são mais resistentes ao encurtamento pelo frio, que é um dos fatores associados à diminuição da maciez da carne nas espécies bovina e ovina. Porém, estudos, realizados por CARPENTER *et al.* (1996), em cordeiros com hipertrofia muscular pelo “callipyge gene”, apresentaram predominância das fibras “fast glycolytic” e diminuição da maciez nos músculos *longissimus* e *gluteus medius*, quando comparados com cordeiros normais.

Em bovinos, VESTERGAARD *et al.* (1994) observaram que o aumento do número das fibras brancas (*fast glycolytic*) também está associado à diminuição da maciez da carne, em função do decréscimo na proteólise *post mortem*. Segundo os autores, este resultado está relacionado ao aumento da proporção da calpastatina, que inibe as enzimas calpaínas, responsáveis pela maturação da carne. Conforme já foi demonstrado, as diferenças na taxa de proteólise e de amaciamento da carne das diferentes espécies são correlacionadas negativamente com a atividade da calpastatina. Quanto maior a sua atividade, menor é o grau de amaciamento da carne (KOOHMARAIE *et al.*, 1991; KOOHMARAIE *et al.*, 1996).

GORDURA SUBCUTÂNEA E INTRAMUSCULAR

A gordura subcutânea apresenta uma função importante na maciez da carne. Durante o resfriamento das carcaças, ela atua como uma barreira isolante, evitando a perda de peso por evaporação, a queima e o encurtamento da fibra muscular pelo frio. De acordo com JUDGE *et al.* (1989), músculos que atingem 10°C ou menos, antes de 10h de resfriamento, apresentam diminuição no comprimento do sarcômero e, conseqüentemente, dureza na carne.

Por outro lado, a participação da gordura intramuscular na maciez da carne pode ser associado a um conjunto de fatores, como: diminuição da força necessária para fracionar o perimísio, retenção de líquidos mantidos durante o cozimento da carne, que seriam liberados durante a mastigação, e a liberação de compostos flavorizantes que estimulariam a salivação (WOOD, 1990; WINGER & HAGYARD, 1994).

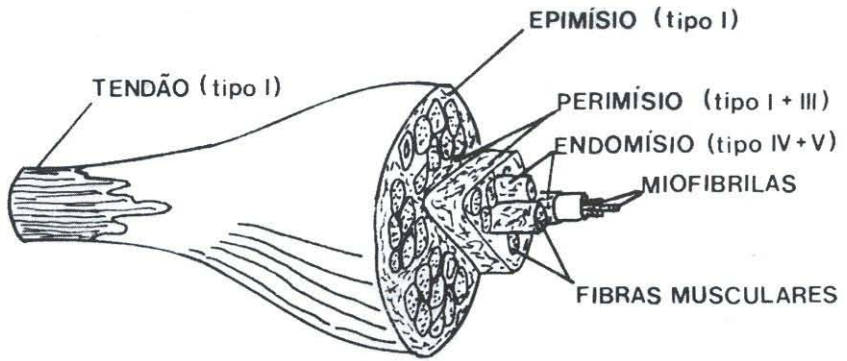
TECIDO CONJUNTIVO

O tecido conjuntivo é uma rede protéica presente no músculo esquelético, formada, predominantemente, de colágeno. Essa matriz estrutural fornece a forma e suporta os componentes celulares, transmitindo e absorvendo a força gerada pela contração muscular. O colágeno é a principal proteína do tecido conjuntivo, relacionado à textura da carne ou à maciez (LAWRIE, 1985; BAILEY & LIGHT, 1989).

O colágeno está distribuído em três domínios hierárquicos: epimísio, perimísio e endomísio. O epimísio é o tecido conjuntivo que sustenta o músculo, unindo as fibras e auxiliando a locomoção. O perimísio é uma rede tridimensional, que circunda o feixe da fibra muscular e no qual se encontram os depósitos de lipídios. O endomísio é a camada de tecido conjuntivo que envolve a fibra muscular individualmente (Figura 2). Há uma correlação positiva entre o tecido conjuntivo total visível (epimísio) e a dureza, principalmente em animais de mesma idade (BAILEY & LIGHT, 1989; LIU *et al.*, 1996). O perimísio e o endomísio não são separados da carne e constituem o tecido conjuntivo intramuscular (IMC).

O perimísio tem uma participação em torno de 90% do IMC e, geralmente, é considerado o principal contribuinte da dureza da carne. A principal rota da ruptura e a fragmentação da carne ocorre no perimísio, provavelmente na junção perimísio-endomísio. Outro fator que exerce influência sobre a resistência à tensão do perimísio é a temperatura. Há uma associação positiva entre o aumento da temperatura e a diminuição da sua resistência ao rompimento (ROWE, 1978; McCORMICK, 1994b).

FIGURA 2 - Distribuição dos colágenos no músculo.



Fonte: BAILEY, 1992.

QUANTIDADE E TIPOS DE COLÁGENO

Em função de sua estrutura e origem tissular, podemos distinguir cinco tipos de colágeno. Destes, quatro podem ter influência na qualidade da carne (tipos I, III, IV e V). O tipo I está constituído por duas cadeias alfa idênticas e uma cadeia alfa 2 de estrutura primária diferente. Trata-se do colágeno fibroso presente nos tendões, pele, ossos e dentes. O tipo II, composto de três cadeias polipeptídicas alfa idênticas, predomina nas cartilagens e nos discos entre as vértebras. O tipo III, componente principal do sistema vascular, está, também, constituído de três cadeias alfa idênticas. Os colágenos dos tipos I, II e III são fibrilares, ao contrário dos tipos IV e V que são amorfos. Estes últimos estão presentes em numerosas membranas. É possível que as variações observadas na textura entre diferentes músculos estejam relacionadas, em parte, à distribuição das diferentes formas genéticas e dos tipos de colágeno. No epimísio há presença do colágeno tipo I, no perimísio dos colágenos tipos I e III e no endomísio dos colágenos tipos IV e V (Quadro 1). Há uma correlação positiva entre o colágeno tipo III, presente no músculo, e a textura da carne (BAILEY, 1985; BAILEY & LIGHT, 1989).

Quadro 1- Tipos de colágeno no músculo.

Tipo	Características	Principal localização
I	Fibras grossas	Epimísio
III	Ligações dissulfetos/fibras finas	Perimísio
IV	Não fibrilar/ligações dissulfetos	Endomísio
V	Fibras finas	Endomísio

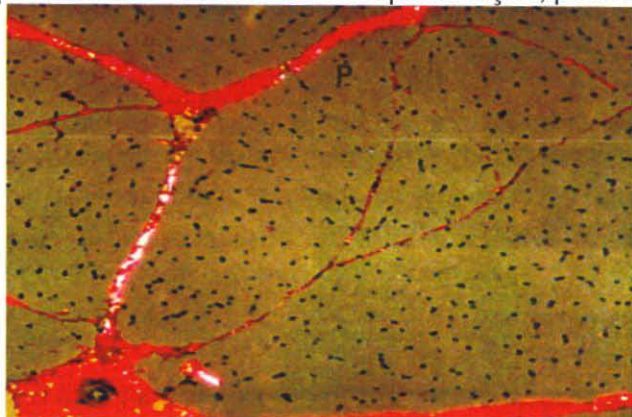
Fonte: BAILEY, 1984.

A composição do colágeno em aminoácidos já é conhecida. Esta proteína é rica em glicina (ao redor de 33% dos aminoácidos

totais) e não contém cistina e triptofano. A prolina representa 30% (P/P) dos aminoácidos totais, sendo que quase a metade destes resíduos está hidroxilada na posição 4, segundo a síntese da proteína. Assim, para o colágeno de tipos I, II, III e IV, o conteúdo em 4-hidroxiprolina é, respectivamente, igual a 13,1%, 15%, 16,6% e 17,4% (P/P) (McCORMICK, 1994a). O valor médio para o tecido conjuntivo é a quantia de 14%. A dosificação da prolina e de seu derivado hidroxilado permite avaliar a quantidade de colágeno na carne e nos produtos cárneos (PRICE & SCHWEIGERT, 1976; DEWEGHE *et al.*, 1986; PINHEIRO, 1989).

A avaliação do colágeno também pode ser realizada por método histoquímico, como a coloração do Picrossírius com polarização. Nessa técnica uma grande quantidade de moléculas do corante Sirius Red, de caráter ácido e alongadas, dispõem-se, paralelamente, às moléculas básicas do colágeno, o que provoca um aumento considerável da birrefringência das suas fibras. Quando observadas com luz polarizada, as fibras colágenas aparecem sob a forma de fibras grossas, brilhantes, fortemente birrefringentes, de cor amarela ou vermelha, conforme pode ser visto na Figura 3 (JUNQUEIRA *et al.*, 1982; CALDINI, 1992).

Figura 3. Corte transversal do *Longissimus dorsi* de cordeiros, corados pelo método Picrossírius com polarização, perimísio (P).



Existem vários fatores de variação do colágeno, destacando-se a raça (CROSS *et al.*, 1984; TOURAILLE *et al.*, 1989; YOUNG & DOBBIE, 1994), a localização do músculo (McCORMICK *et al.*, 1990; HORGAN *et al.*, 1991), o sexo (MILLER *et al.*, 1989; DRANSFIELD *et al.*, 1990), a idade (DIKEMAN, 1990), a utilização de anabolizantes (MAIORANO *et al.*, 1993) e o estado de maturação da carne (WU *et al.*, 1981; MILLS *et al.*, 1989a,b).

Uma das estratégias para aumentar a produção de carne é a utilização de machos inteiros para abate. Este aumento está associado a uma maior eficiência alimentar e à massa muscular. Entretanto, a carne de machos inteiros é variável na maciez e, muitas vezes, mais dura do que a de machos castrados. Elevadas concentrações de testosterona em machos não castrados estimulam a síntese do colágeno, resultando em grande aumento de sua concentração e com variações nos índices de maturidade, como a solubilidade e o encolhimento térmico (MILLER *et al.*, 1989; MAIORANO *et al.*, 1993).

A participação das diferentes estruturas histológicas na maciez da carne pode ser observada durante o aquecimento, quando as proteínas musculares se desintegram e sofrem modificações nas suas propriedades, particularmente a actomiosina, que se agrega liberando água. À temperatura de 40 a 50°C, as proteínas miofibrilares desnaturam, perdem água e formam um gel rígido, com aumento na dureza da carne que pode ser medida no Warner Bratzler Shear. Entre 60 e 70°C, há uma participação das fibras do colágeno, que retraem, provocando uma perda adicional de água, refletindo-se em mais aumento da dureza. Quando o colágeno encolhe, as proteínas musculares atuam contra o encolhimento, resultando uma compressão juntamente com as miofibrilas desnaturadas e um aumento na perda de fluido da carne. Porém, a partir de 80°C, o colágeno se solubiliza e a carne torna-se mais macia (DAVEY & GILBERT, 1974; DRANSFIELD, 1994).

Ligações cruzadas do colágeno

A textura de uma carne não está, necessariamente, ligada ao conteúdo do colágeno, pois depende, principalmente, da solubilidade dessa proteína. O mais freqüente é que, em soluções salinas ou ácidas, a solubilidade do colágeno do tecido muscular diminua quando a idade do animal aumenta. Na carne de animais jovens, as uniões covalentes do tipo aldimínicas, que ligam as moléculas de tropocolágeno entre si, são relativamente lábeis e se rompem facilmente por variações do pH, de calor ou sob ações de agentes desnaturizantes (KING, 1987; YOUNG & BRAGGINS, 1993; YOUNG *et al.*, 1994).

Durante o tratamento térmico, em meio úmido, se a temperatura for suficiente, as fibras inelásticas do colágeno se retraem e ocorre uma gelatinização. A temperatura de retração varia entre 55 e 70°C, segundo a natureza da fibra. Em geral, a temperatura de solubilização do colágeno é superior a 80°C e depende, sobretudo, do músculo e da idade do animal. Essa solubilização ou gelatinização é o resultado da dissociação das fibrilas e do desdobramento da hélice tríplice. Em conjunto, ocorre a hidrólise parcial da molécula (PRICE & SCHWEIGERT, 1976; ASGHAR & HENRICKSON, 1982).

Quando a matriz do colágeno não se solubiliza durante o aquecimento, ocorre a formação de uma barreira, dificultando a quebra do tecido muscular durante a mastigação. O fator que governa esta solubilidade está associado ao aumento do número de linhas cruzadas reduzíveis aldiminas e/ou oxi-iminas, resultando numa correlação positiva entre o aumento da textura da carne e a idade do animal. Na medida que a idade avança, as ligações cruzadas são substituídas por outras, também cruzadas, mais resistentes, não reduzíveis, que se originam da associação das cetoaminas, como as piridinolinas. Essas ligações conectam três moléculas de colágeno e levam à estabilização da sua rede de transmissão, diminuindo a sua solubilidade e, por conseguinte, aumentando a dureza da carne. Em função desta

relação, a sua determinação, em conjunto com métodos objetivos instrumentais e subjetivos sensoriais, tem sido utilizada para avaliar o grau de maciez da carne (HILL, 1966; SHIMOKOMAKI *et al.*, 1972; BAILEY, 1985; MAHENDRAKAR *et al.*, 1989; HORGAN *et al.*, 1991; YOUNG *et al.*, 1993; McCORMICK, 1994b).

YOUNG & DOBBIE (1994) avaliaram as propriedades do colágeno intramuscular entre as raças ovinas Romney e cruza Texel x Romney, em cordeiros abatidos com idade de 100, 150 e 210 ou 215 dias. A solubilidade decresceu com a idade e a concentração do colágeno não foi afetada pelas diferenças raciais. Para os cordeiros abatidos entre 100 e 210 ou 215 dias as propriedades do colágeno intramuscular foram determinantes para a qualidade da carne. Entretanto, em trabalho realizado com cordeiros abatidos com idade de 150 dias, resultante do cruzamento de carneiros da raça Dorset Down e Suffolk com ovelhas Blueface Leicester e Scottish Blackface, DRANSFIELD *et al.* (1990) encontraram diferenças entre as cruzas para o conteúdo de colágeno no músculo *longissimus lumborum*. As cruzas Suffolk apresentaram maior teor de colágeno do que as Dorset Down.

Estudos realizados por YOUNG *et al.* (1994), nos músculos *semimembranosus*, *gluteus medius* e *biceps femoris* de ovinos, demonstraram que a concentração de piridinolina foi inversamente relacionada com a solubilidade do colágeno dos músculos estudados ($P < 0,01$). Em todos os músculos, a piridinolina permaneceu insolúvel no teste de solubilidade ao calor. A sua concentração não foi significativamente relacionada à força de cisalhamento (W.B.) e às propriedades sensoriais no músculo *semimembranosus*.

Considerando as propriedades físicas das linhas cruzadas do colágeno em carnes cozidas, BAILEY & LIGHT (1989) não encontraram relação entre a concentração de piridinolina e o resultado da força de cisalhamento (W.B.). Porém, alguns autores demonstraram uma correlação positiva entre as linhas cruzadas e a insolubilidade do colágeno, associada à idade e à maciez da carne, em avaliações efetuadas através de análises instrumentais e de painel sensorial (KING, 1987).

MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA TEXTURA

Os métodos utilizados para a avaliação da textura na carne podem ser classificados em três categorias:

- a) métodos subjetivos – análises sensoriais;
- b) métodos objetivos - análises instrumentais, Os mais usados são a compressão, a penetração e o “shear” teste (força de cisalhamento);
- c) métodos indiretos - atividade das enzimas proteolíticas, índice de fragmentação das proteínas miofibrilares, avaliação histológica da fibra muscular e do tecido conjuntivo (colágeno) (JUNQUEIRA *et al.*, 1979; CHRISTALL, 1994).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários componentes presentes na estrutura muscular respondem pela textura da carne. A denominada textura de fundo está relacionada, principalmente, com a qualidade ou a maturidade do colágeno. Neste caso, a maciez depende de um número de fatores biológicos, como tipo de músculo, idade, raça e sexo. Por outro lado, as transformações bioquímicas dependentes dos sistemas enzimáticos e dos tipos de fibras presentes no músculo estão associadas ao armazenamento *post mortem* e às condições de abate.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASGHAR, A. & HENRICKSON, R.L. Functional properties of food-grade bovine hide collagen in coarse bologna. 2. Effects on different protein fractions. **J. Food. Qual.**, 5, p.271-284, 1982.
- ASHMORE, C.R. Phenotypic expression of muscle fiber types and some implications to meat quality. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 38:5, p.1158-1163, 1974.
- BAILEY, A.J. The chemistry of intramuscular collagen. London, Royal Soc. Chem., 1984, p.22-40.
- BAILEY, A.J. The role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality. **J. Anim. Sci.**, Oxford, 60, p.1580-1587, 1985.
- BAILEY, A.J. Collagen-nature's framework in the medical, food and leather industries. **J. Soc. Leather Chem.**, 76: 111-127, 1992.
- BAILEY, A.J. & LIGHT, N.D. **Connective tissue in meat and meat products**. London: Elsevier Applied Science, 1989, p.334-338.
- CALDINI, E.T.E.G. **Estudo histoquímico e ultra-estrutural do colágeno na fibrose periglandular do endométrio equino**. São Paulo, 1992. 118p. (Tese de Doutorado – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – USP).
- CARPENTER, E.C.; RICE, O.D.; COCKETT, E.N.; SNOWDER, G.D. Histology and composition of muscles from normal and callipyge lambs. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 74, p.388-393, 1996.
- CHRYSTAL, B. Meat texture measurement. In: Pearson, A.M. & Dutson, T.R.. **Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1994, p.316-336.
- CORNFORTH, D.P.; PEARSON, A.M.; MERKEL, R.A. Relationship of mitochondria and sarcoplasmic reticulum to cold shortening. **Meat Sci.**, Barking, 4, p.103-121, 1980.
- CORREIA, A.A.D. & CORREIA, J.H.R.D. **Bioquímica Animal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1989, p.377-402.
- CROSS, H.R.; SCHANBACHER, B.D.; CROUSE, J.D. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. **Meat Sci.**, Barking, 10, p.187-195, 1984.
- DAVEY, C.L. & GILBERT, K.V. Temperature-dependent cooking toughness in beef. **J. Sci. Food Agric.**, 25, p.931-938, 1974.
- DEWEGHE, L.; HEREMANS, F.; LENGES, J. Spectrophotometric determination of hydroxyproline (collagen) content in meat products. In: **Meat International Congress**, Bélgica, 1986, Proceeding, 9: 19, p.495-498.

- DIKEMAN, M.E. Genetic effects on the quality of meat from cattle. In: **World Congress On Genetic Applied To Livestock**, 14, 1990, p.23-27.
- DRANSFIELD, E. Tenderness of meat, poultry and fish. In: Pearson, A.M. Dutson, T.R. **Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 199 p.289-311.
- DRANSFIELD, E.; NUTE, G.R.; HOGG, B.W.; WALTERS, B.R. Carcass and eating quality of ram, castrated ram and ewe lambs. **Anim. Product**, 50: p.291-299, 1990.
- GREGORY, K.E.; SEIDEMAN, S.C.; FORD, J.J. Effects of late castration, zeranol and breed group on composition and palatability characteristics of *Longissimus* muscles of bovine males. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 56: p.781-786, 1989.
- GUSTAVSSON, B.E.; KARLSTRÖM; LUNDSTRÖM. Muscle fiber characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. **Meat Sci.**, Barking, 31, p.1-11, 1992.
- HERRING, H.R.; CASSENS, R.G.; SUESS, G.C.; SUESS, V.H. Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscle. **J. Food Sci.**, Oxford, 32, p.317-320, 1967.
- HILL, F. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. **J. Food Sci.**, Oxford, 31, p.161-166, 1966.
- HORGAN, D.J.; JONES, P.N.; KING, N.L.; KURTH, L.B.; KUYPERS, R. The relationship between animal age and the thermal stability and cross-link content of collagen from five goat muscles. **Meat Sci.**, Barking, 29, p.25-262, 1991.
- JUDGE, M.D.; ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; HEDRICK, H.B.; MERKE, R.A. **Principles of Meat Science**. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1989, p.11-56.
- JUNQUEIRA, L.C.U.; BIGNOLAS, J.; BRENTANI, R.R. Picrosirius staining plus polarization microscopy – a specific method for collagen detection in tissue sections. **Histochem. J.**, 11, p.447-455, 1979.
- JUNQUEIRA, L.C.U.; MONTES, G.S.; SANCHEZ, E.M. The influence of tissue thickness on the study of collagen by the picrosirius-polarization method. **Histochemistry**, 74, p.153-156, 1982.
- KING, N.L. Thermal transition of collagen in ovine connective tissues. **Meat Sci.**, Barking, 20, p.25-37, 1987.
- KOOHMARAIE, M.; SHAKELFORD, S.D.; MUGGLI-COCKETT.; STONE, R. Effect of the α -adrenergic agonist (L-644,969) on muscle growth, endogenous proteinase activities, and postmortem proteolysis in wethers. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 69, p.4823-4835, 1991.

- KOOHMARAIE, M.; SHAKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L.; LONERGAN, S.M.; DOUMIT, M.E. A muscle hypertrophy condition in lamb (*callipyge*): characterization of effects on muscle growth and meat quality traits. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 73, p.3596-3607, 1995.
- KOOHMARAIE, M.; SHAKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L. Effects of a α -adrenergic agonist (L-644,969) and male Sex condition on muscle growth and meat quality of callipyge lambs. **J. Anim. Sci.**, 74, p.70-79, 1996.
- KOOHMARAIE, M.; WHIPLE, G.; KRETCHMAR, D.H.; CROUSE, J.D.; MERSMANN, H.J. Postmortem proteolysis in *Longissimus* muscle from beef, lamb and pork carcasses. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 69, p.617-624, 1991.
- KRETCHMAR, D.H.; HATHAWAY, M.R.; EPLEY, R.J.; DAYTON, W.R. Alterations in degradation of myofibrillar proteins in muscle of lambs fed a α -adrenergic agonist. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 68, p.1760-1772, 1990.
- LAWRIE, R.A. **Meat Science**. 4.ed. Oxford: Pergamon Press, 1985, 267p.
- LIGHT, N.; CHAMPION, A.E.; VOYLE, C.; BAILEY, A.J. The rôle of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscle. **Meat Sci.**, 132, p.137-149, 1985.
- LIU, A.; NISHIMURA, T.; TAKAHASHI. Relation between structural properties of intramuscular connective tissue and toughness of various chicken skeletal muscles. **Meat Sci.**, Barking, 1: 43, 1996.
- MAHENDRAKAR, N.S.; DANI, N.P.; RAMESH, B.S.; AMLA, B.L. Studies on influence of age of sheep and *post-mortem* carcass conditioning treatments on muscular collagen content and its thermolability. **J. Food Sci. Technology**, India, 26: 2, p.102-105, 1989.
- MAIORANO, G.; MCCORMICK, R.J.; FIELD, R.A.; SNOWDER, G. Intramuscular collagen characteristics of ram, wether and zeranol – implanted ram lambs. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 71, p.1817-1822, 1993.
- MCCORMICK, R.J. Structure and properties of tissues. In: Kinsman, D.M.; Kotula, A.W.; Breidenstein, B.C. **Muscle Foods**. New York: 1994a, p.25-50.
- MCCORMICK, R.J. The Flexibility of the collagen compartment of muscle. **Meat Sci.**, Barking, 36, p.79-91, 1994b.
- MCCORMICK, R.J.; JUDGE, M.D.; SCHANBACHER, B.D. Intramuscular collagen and serum hydroxyproline as related to implanted testosterone, dihydrotestosterone and estradiol-17 β in growing wethers. **J. Food Anim. Sci.**, 68: 4, p.1044-1048, 1990.
- MILLER, L.F.; JUDGE, M.D.; DIKEMAN, M.A.; HUDGENS, R.E.; ABERLE, E.D. Relationship among intramuscular collagen, serum hydroxyproline and serum testosterone in growing rams and wethers. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 67:3, p.698-703, 1989.

- MILLS, E.W.; SMITH, S.H.; FORREST, J.C.; ABERLE, E.D.; JUDGE, M.D. Effects of early *post-mortem* ageing on intramuscular collagen stability, yield and composition. **Meat Sci.**, Barking, 25, p.133-141, 1989a.
- MILLS, E.W.; SMITH, S.H.; JUDGE, M.D. Early *post-mortem* degradation of intramuscular collagen. **Meat Sci.**, Barking, 26, p.115-120, 1989b.
- MONIN, G. & OUALI, A. Muscle differentiation and meat quality. In: Lawrie, R.A. **Developments in Meat Science – 5**. London: Elsevier, 1991. Cap. 3, p.89-109.
- MONTEIRO, E.M. **Influência do cruzamento Ile de France x Corriedale (F1) nos parâmetros de qualidade da carne de cordeiro**. São Paulo, 1998.99p.(Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Universidade de São Paulo)
- NISHIMURA, T.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. Relation between degradation of proteoglycans and weakening of the intramuscular connective tissue during *post-mortem* ageing of beef. **Meat Sci.**, Barking, 42: 3, p.251-260, 1996.
- PEARSON, A.M. & YOUNG, R.B. Skeletal muscle fiber types. In: Pearson, A.M. & Young, R.B. **Muscle and Meat Biochemistry**. San Diego: Academic Press Inc., 1989, cap. 9, p.235-265.
- PINHEIRO, E.M. **Processamento da carne de ovino adulto**. Santa Maria, 1989, 81p. (Dissertação de Mestrado – Faculdade de Farmácia – UFSM)
- PRICE, J.F. & SCHWEIGERT, B.S. **Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1976, 668p.
- ROWE, R.W.D. Collagen fibrils of the perimysium and endomysium of sheep *semiteminosus* muscle. **Meat Sci.**, 2, p.275-280, 1978.
- SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, R.E.; ROHRER, G.A.; SAVELL, J.W. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine *post-rigor* calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler Shear force, retail product yield and growth rate. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 72: 4, p.857-863, 1994.
- SHIMOKOMAKI, M.; ELSDEN, D.F.; BAILEY, A.J. Meat tenderness: age related changes in bovine intramuscular collagen. **J. Food Sci.**, Oxford, 37, p.892-896, 1972.
- SHORTHOSE, W.R. Effects of level of feeding, pre-slaughter stress and method of slaughter on *postmortem* glycolysis of sheep muscles. **Meat Sci.**, Barking, 2, p.189-198, 1978.
- SMITH, G.C.; DUTSON, T.R.; HOSTETLER, R.L.; CARPENTER, Z.L. Fatness, rate of chilling and tenderness of lamb. **J. Food Sci.**, Oxford, 41, p.748-785, 1976.
- SOLOMON, M.B.; CAPERNA, T.J.; MROZ, R.J.; STEELE, N.C. Influence of dietary protein and recombinant porcine somatotropin administration in young pigs: III. muscle morphology and shear force. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 72, p.615-621, 1996.

- TORNBERG, E. Biophysical aspects of meat tenderness. **Meat Sci.**, Barking, 43: 3, p.175-191, 1996.
- TOURAILLE, C.; MONIN, G.; LEGAUT, C. Eating quality of meat from European x Chinese crossbred pigs. **Meat Sci.**, Barking, 25: 3, p.177-186, 1989.
- VERTERGAARD, M.K.; SEJRSEN, M.K.; KLASTRUP, S. Growth, composition and eating quality of *Longissimus* from young bulls fed the β -agonist cimaterol at consecutive developmental stages. **Meat Sci.**, Barking, 38, p.55-66, 1994.
- WHEELER, T. L.; KOOHARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; DIKEMAN, M.E. Effects of cooking and shearing methodology on variation in Warner-Bratzler shear force value in beef. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 72, p.2225-2230, 1994.
- WHEELER, T.L.; SHACKFORD, S.D.; KOOHARAIE, M. Sampling, cooking and curing effects on Warner-Bratzler Shear Force values in beef. **J. Anim. Sci.**, Champaign, 74, p.1553-1562, 1996.
- WINGER, R.J. & HAGYARD, C.J. Juiciness – its importance and some contributing factors. In: Pearson, A.M. & Dutson, T.R. Quality attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1994, p.94-116.
- WOOD, J.D. Consequences for meat quality of reducing carcass fatness. In: Wood, J.D. & Fisher, A.V. **Reducing Fat in Meat Animals**. Essex: Elsevier Science Publisher Ltd, 1990, p.344-389.
- WU, J.J.; DUTSON, T.R.; CARPENTER, Z.L. Effect of *post-mortem* time and temperature on the release of lysosomal enzymes and their possible effect on bovine connective tissue components of muscle. **J. Food Sci.**, Oxford, 46, p.1132-1135, 1981.
- YOUNG, O.A. & BRAGGINS, T.J. Tenderness of ovine *semimembranosus*. Is collagen concentration or solubility the critical factor? **Meat Sci.**, Barking, 35: 2, p.213-222, 1993.
- YOUNG, O.A.; BRAGGINS, T.J.; BARKER, G.J. Pyridinoline in ovine intramuscular collagen, **Meat Sci.**, Barking, 37: 2, p.297-303, 1994.
- YOUNG, O.A. & DOBBIE, J.L. Characteristics of intramuscular collagen in two sheep breeds. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 37: 1, p.93-97, 1994.
- YOUNG, O.A.; HOGG, B.W.; MORTIMER, B.J.; WALLER, J.E. Collagen in two muscles of sheep selected for weight as yearlings. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 36: 1, p.143-150, 1993.